

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЯ КОЛМОГОРОВА-ДЖОНСОНА- МЕЙЛА- АВРАМИ КИНЕТИКИ БЕЙНИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ Cr-Ni-Mo СТАЛЕЙ

Куклина А.А.

Руководитель - д.т.н., проф. Юдин Ю.В.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, shyrka_aak@mail.ru

На основе определения кинетических параметров уравнения Колмогорова- Джонсона- Мейла- Аврами n и k бейнитного превращения среднеуглеродистых Cr-Ni-Mo сталей проведено аналитическое описание изотермических диаграмм. Полученные результаты показывает удовлетворительное совпадение расчетных изотермических диаграмм со справочными данными.

Исходными данными для расчета кинетики образования бейнита в изотермических условиях являлись экспериментальные изотермические диаграммы распада переохлажденного аустенита сталей 34ХН3М, 35Х2НМ, 35ХН2М, 35ХНМ, 40ХНМ, 35Х2Н4М, 12Х2Н4М, 12ХН4М, 20Х2Н2М, 20Х2Н2МР, 30Х2Н2М, 30ХН3М, 30ХНМ [1]. Для описания изотермической кинетики бейнитного превращения использовалось уравнение Колмогорова-Джонсона- Мейла- Аврами:

$$P = 1 - \exp(-k \cdot \tau^n) \quad (1)$$

где P – объемная доля образованной фазы; τ – время изотермической выдержки, с; k , n - температурно - зависимые параметры уравнения.

Проведена оцифровка изотермических диаграмм распада переохлажденного аустенита доэвтектоидных конструкционных сталей, опубликованных в [1] с помощью программы «GetData Graph Digitizer 2.26», определено время условного начала и конца перлитного превращения $\tau_{0,01}$ и $\tau_{0,99}$, рассчитаны температурно-зависимые параметры уравнения (1) k и n по уравнениям:

$$n = \ln \frac{\ln(0,99)}{\ln(0,01)} / \ln\left(\frac{\tau_{0,01}}{\tau_{0,99}}\right), \quad (2)$$

$$k = -\frac{\ln(0,99)}{(\tau_{0,01})^n}, \quad (3)$$

Построены графики зависимостей коэффициентов уравнения (1) n и $-\ln k$ от температуры изотермической выдержки.

Полученные экспериментальные зависимости показателя степени n_t уравнения (1) от температуры изотермической выдержки для исследованных конструкционных сталей были аппроксимированы уравнением вида:

$$n_t = n_0 \exp(B(t - t_{n \max})^2) + Z \quad (4)$$

где n_0 , B , Z – коэффициенты; $t_{n \max}$ – температура изотермической выдержки, при которой коэффициент n достигает максимального значения.

На рисунке 2 приведены экспериментальные по данным [1] и расчетные зависимости показателя степени n от температуры изотермической выдержки для стали 30X2H2M. Расчетные значения показателя степени n удовлетворительно коррелируют с экспериментальными данными.

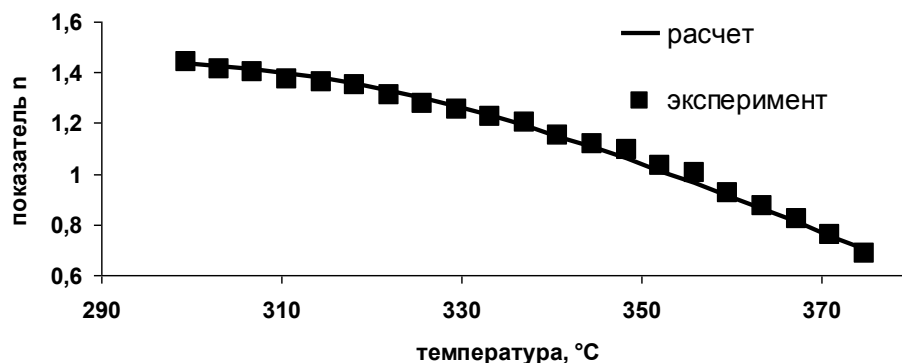


Рисунок 1 Изменение показателя степени n от температуры изотермической выдержки переохлажденного аустенита стали 30X2H2M по экспериментальным данным (■) [1] и расчетное по уравнению (4)

Обобщая полученные значения коэффициентов уравнения (4) для ряда сталей методом линейной множественной регрессии получены зависимости, связывающие значения коэффициентов n_0 , B , $t_{n \max}$, Z уравнения (4) с химическим составом сталей.

Для определения температуры изотермической выдержки, при которой в среднелегированных сталях будет наблюдаться максимальное значение параметра n , получено уравнение линейной множественной регрессии (5), связывающее $t_{n \max}$ с легированием стали:

$$t_{n \max} = 556 - 491 C - 3 Cr - 12,5 Ni - 233 Mo \quad (5)$$

Для коэффициентов n_0 , B , C определены зависимости:

$$n_0 = 2 + 0,16 C + 0,38 Cr + 0,06 Ni - 2,36 Mo \quad (6)$$

$$B = -1,9 \cdot 10^{-4} + 6,5 \cdot 10^{-4} C - 13,0 \cdot 10^{-4} Cr + 39,0 \cdot 10^{-4} Mo \quad (7)$$

$$Z = -1,87 + 0,90 C - 0,36 Cr + 0,22 Ni + 3,44 Mo \quad (8)$$

Уравнения (5)...(8) получены для содержания химических элементов в стали C – (0,2...0,45) %; Cr – (0,76...1,65) %; Ni – (0,92...3,7) %; Mo – (0,12...0,3) %.

Коэффициент корреляции экспериментальных и расчетных значений n_0 , $t_{n \max}$, Z по уравнениям (5)...(8) составляет 0,72...0,98.

Анализируя экспериментальные зависимости параметров уравнения (1), установлено, что численные значения $\ln k$ и n связаны линейно,

коэффициент корреляции составляет 0,97...0,99. Установленная линейная зависимость $\ln k$ от показателя степени n позволяет рассчитать для любой температуры изотермической выдержки коэффициент k по значению n по уравнению:

$$k = \exp(-(\alpha n + \beta)) \quad (9)$$

Получены уравнения линейной множественной регрессии, связывающие коэффициенты α и β с химическим составом сталей:

$$\alpha = -1,6 + 15,3 C + 0,7 Cr + 0,3 Ni - 3,9 Mo \quad (10)$$

$$\beta = 1,9 - 0,7 C + 1,5 Cr + 0,2 Ni + 1,9 Mo \quad (11)$$

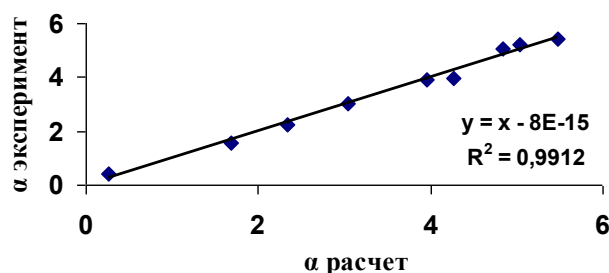


Рисунок 2 Соотношение расчетного и экспериментального значения α . Соответственно, зная коэффициенты k и n , можно определить условное время начала $\tau_{0,01}$ и конца изотермического превращения $\tau_{0,99}$, построить расчетные изотермические диаграммы распада переохлажденного аустенита ряда сталей. На рисунке 3 приведены расчетная и экспериментальная [1] изотермические диаграммы распада переохлажденного аустенита стали

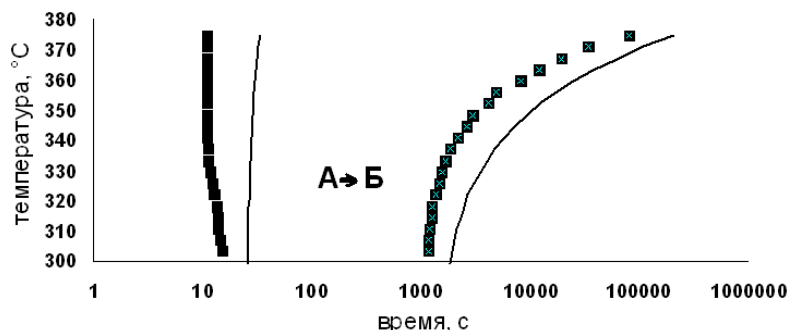


Рисунок 3 Экспериментальная (■)[1] и расчетная (линии) изотермические диаграммы распада переохлажденного аустенита стали 30X2H2Mv бейнитной области

Определение параметров уравнения (1) n и k в виде функции от температуры изотермической выдержки дало возможность аналитически описать кинетику бейнитного превращения Cr-Ni-Mo сталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Попова Л.Е., Попов А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и β - раствора в сплавах титана: справочник термиста. // М.: Металлургия. 1991. 503 с.